ChinaXiv合作期刊

chinaXiv:202307.00175v1

不同轻基质配比和施肥处理对盆栽梅花‘骨里红’幼苗生长和生理的影响[1]

任安琦，韦淋馨，张若溪，张钰晗，李庆卫*
（北京林业大学 园林学院，国家花卉工程技术研究中心，北京 100083）

摘　要：为指导‘骨里红’幼苗的合理施肥，该文以一年生‘骨里红’梅扦插苗为材料，设计三因素三水平正交试验，研究了轻基质原料配比（体积比）、单次施肥量和施肥频率对‘骨里红’梅生长和生理的影响，并通过苗木质量指数（QI）公式得出各处理的 QI 指数，对各单项指标的主成分分析并计算各指标的权重系数，结合隶属函数模型算出施肥效果 *D* 值，为‘骨里红’幼苗的科学施肥提供依据。结果表明：（1）轻基质体积比在松针土∶草炭∶珍珠岩（体积比）=1∶2∶2 的组合下‘骨里红’幼苗的整体生长情况最好，优于其他两种基质配比。（2）施肥处理中，‘骨里红’苗的可溶性糖、可溶性蛋白、叶绿素含量、光合参数均随施肥量升高呈上升趋势，但施肥量过高时部分指标不再升高，或略有下降。（3）‘骨里红’叶片中的养分含量施肥量的上升而增加。（4）20 d 的施肥频率和 200 mL 的单次施肥量条件下，有利于‘骨里红’苗生物量的积累。综合考虑植物生长指标、生理指标、养分含量及 QI 指数、隶属模型和主成分分析结果，养分含量营养液中氮浓度为 420 mg • L^{-1}、磷浓度为 217 mg • L^{-1}、钾浓度为 273 mg • L^{-1}，松针土∶草炭∶珍珠岩（体积比）=1∶2∶2、单次施肥量为 150 mL、施肥频率为 15 d 为适宜‘骨里红’梅一年生苗生长的轻基质施肥方案。该结论为‘骨里红’梅的轻基质栽培提供了技术支撑，为进一步探讨适宜各品种梅花的通用配方提供了理论支撑，对梅花科学施肥及出口具有重要意义。

关键词：梅花，轻基质，营养液，配方施肥，生长和生理响应
中图分类号：Q945.1　　　　**文献标识码：**A

Effects of different light substrates and fertilization treatments on growth and physiology of potted *Prunus mume* ‘Gulihong’ seedlings

REN Anqi, WEI Linxin, ZHANG Ruoxi, ZHANG Yuhan, LI Qingwei*
（*School of Landscape Architecture, Beijing Forestry University, National Engineering Research Center for Floriculture,* Beijing 100083, China）

Abstract: To optimize the growth of *Prunus mume* ‘Gulihong’ seedlings through informed fertilization strategies, a comprehensive three-factor, three-level orthogonal experiment was designed, utilizing one-year-old ‘Gulihong’ cuttings as the test material. The study specifically investigated the impact of light substrate ratios (volume ratios), single fertilization amount, and fertilization frequencies on the growth and physiological characteristics of ‘Gulihong’ seedlings. The Quality Index (QI) for each treatment was calculated utilizing a seedling quality index

基金项目：国家重点研发计划（2020YFD1000500）[Supported by National Key Research and Development Program of China（2020YFD1000500）]。

第一作者：任安琦(1997 -)，硕士研究生，研究方向为梅花栽培与应用，458330745@qq.com。
***通信作者：**李庆卫，博士，教授，研究方向为园林植物栽培与应用，lqw6809@bjfu.edu.cn。

formula. Principal component analysis was subsequently performed on individual index, and weight coefficients were computed to elucidate the relationships between variables. The fertilization effect *D* value was ascertained using a membership function model, providing a robust foundation for the scientific fertilization of 'Gulihong' seedlings. The results were as follows: (1) The overall growth of 'Gulihong' seedlings was optimal with a pine needle soil：grass charcoal：perlite (volume ratio) of 1：2：2, outperforming the other two substrate ratios in terms of growth outcomes. (2) In fertilization treatments, the contents of the soluble sugar, soluble protein, chlorophyll, and photosynthetic parameters of 'Gulihong' seedlings increased with higher fertilizer application rates. However, some indices plateaued or marginally decreased when the application rate was excessive, underscoring the necessity of balanced fertilization. (3) The nutrient content in 'Gulihong' leaves consistently increased with higher fertilizer application rates, highlighting the direct relationship between fertilization and nutrient uptake. (4) A fertilization frequency of 20 days and a single fertilization amount of 200 mL were conducive to biomass accumulation in 'Gulihong' seedlings, promoting overall growth. Considering plant growth index, physiological index, nutrient content, QI, membership model, and principal component analysis results, the recommended light substrate fertilization program for one-year-old 'Gulihong' seedlings comprises a nutrient solution with N=420 mg·L^{-1}, P=217 mg·L^{-1}, K=273 mg·L^{-1}, pine needle soil：grass charcoal：perlite (volume ratios) =1：2：2, a single fertilization amount of 150 mL, and a fertilization frequency of 15 days. This conclusion provides vital technical support for the light substrate cultivation of 'Gulihong', indispensable theoretical support for further exploration of general formulas suitable for various *Prunus mume* varieties, and holds significant implications for the scientific fertilization and export of *Prunus mume*, ultimately contributing to the sustainable development of the industry.

Key words: *Prunus mume*, light substrate, nutrient solution, formula fertilization, growth and physiological responses

chinaXiv:202307.00175v1

梅花（*Prunus mume*）为蔷薇科李属小乔木，原产于中国。梅花花期早，品种类型繁多，其花色、香、姿、韵俱佳，在盆景装饰、园林绿化等方面有一定应用价值（陈俊愉, 1999）。为满足市场对盆栽梅花的需求，了解梅花对轻基质和施肥方式的反应机制、明确梅花增产增效方式，合理使用轻基质与施肥是一项重要的生产措施。

轻基质属于轻型育苗基质，是泥炭、珍珠岩、蛭石等与经过发酵、腐熟或炭化处理的农林废弃物或可再生资源组成的混合物（李宇蝶，2019）。由于轻基质具有质量轻、富含营养、保水保肥性强等特点，提高了育苗的便利性与实用性，近年来轻基质的研究兴起（刘泽茂等，2022），当下梅花研究中也多使用轻基质作为扦插、嫁接、中小型苗栽培等研究的基质。如周小娟等（2021）研究赤霉素和温度对'美人'梅（*P. mume* 'Meiren'）促成栽培的影响时，于栽培基质中加入了草炭、珍珠岩、蛭石。同时，轻基质方便解决后期苗木运输物流问题，是优化工厂化育苗的前提，已在农业育苗生产、林木容器育苗等诸多行业被广泛应用（李宏祎，2019）。而传统栽培中梅花尤其是'骨里红'梅（*P. mume* 'Gulihong'）的管理较为粗放，多使用园土地栽的形式，存在土壤易板结、营养成分易流失、栽培成本高等多种问题，导致'骨里红'梅生长势一般、苗木标准化程度低，无法为科学研究的开展打造较好的基础条件。轻基质栽培下，寻找较合理的配比基质，可为'骨里红'苗提供良好的透气透水环境、减少病虫害。同时，较轻的基质更利于人工盆栽管理和物流运输，可解决传统栽配种的诸多问题，因此，结合轻基质进行轻简化、标准化栽培是未来梅花苗木繁育的发展趋势。但前人研究中对其他植物在此方面研究较多，对'骨里红'梅关注较少，且不同轻基质配比和施肥

chinaXiv:202307.00175v1

方式对‘骨里红’梅的作用效果尚不清楚，急需相关方向的研究来填补这一空白。

植物营养物质对于植物的生产必不可少，如何更精准更有效的施肥是当下国际农业科学研究的热点领域。而不同生长发育时期，植物需要的营养元素含量不同、施肥量和施肥频率也不同。梅花常在秋季待新梢停止生长后施 1 次有机肥作为基肥，追肥通常在花后施加一次氮肥以促进营养生长期的生长，在花芽分化期施加 P 肥和 K 肥（李长伟等，2020）。营养生长期的梅花主要进行形态上的增长，对氮元素的需求偏多（苏小惠，2020）。但随着植物品种水分利用能力和栽培技术的改进，植物间、植物和环境间互作效应越来越明显，人们越来越认识到平衡施肥对提高产量的有益作用，而不是单纯大量施用单一肥料，采用配方施肥技术可以保持基质的肥力水平，减少养分流失，减少环境污染，它是科学施肥系统中的主要核心技术（Savvas & Gruda, 2018）。黄兰清等（2022）对‘紫精灵’紫薇（*Lagerstroemia indica* ‘Zi Jing Ling’）容器苗的研究结果表明，配方施肥能显著提高紫薇苗木的苗木质量。龙海燕等（2022）对贵州金花茶（*Camellia huana*）生长及根系形态的进行了研究，结果表明施肥能够促进金花茶幼苗生长及生物量的积累。因此，合理的配方施肥有利于植物的栽培养护。近年来，对梅花的研究主要集中在抗寒（王楠楠等，2021）、种质资源创新（李长伟等, 2020）和花香（杨姝婷，2021）等方面，关于梅花合理施肥的研究较少。付慧琪（2012）的研究表明，5%日本园试配方和盆景植物无土栽培通用配方为较适宜‘扣瓣大红’梅（*P. mume* ‘Kouban Dahong’）的栽培配方，除此以外关于梅花对营养液配方施肥的响应研究国内外鲜有报道，梅花营养研究的发展缓慢，梅花营养的产业化经营的理论也受到影响。因此，应研究合理的梅花轻基质配比和营养液施肥技术对梅花盆栽苗的栽培管理，了解其生长生理机制的影响，发现梅花生长的本质规律，为梅花苗木产业化经营提供科学依据。

本研究的材料为一年生‘骨里红’梅扦插苗，‘骨里红’梅一年生枝绿色发红，老枝内皮红色，花色粉艳，作为苗木具有极高观赏价值。本研究采用不同配比的轻基质和营养液施肥正交方案，通过测定梅花的株高、地径、一年生枝长度和直径、叶面积、可溶性糖和可溶性蛋白含量、光合参数、养分含量和生物量等指标，采用苗木质量指数和主成分分析结合隶属函数法，研究了不同轻基质配比和施肥处理对‘骨里红’梅幼苗生长和生理的影响，确定代表品种‘骨里红’适宜的轻基质配比和施肥方案，旨在为‘骨里红’梅的轻基质栽培和配方施肥提供重要的第一手资料，对促进梅花实现优质生产和贸易有重要的实践价值。

1　材料与方法

1.1 材料

本次试验地位于北京林业大学北林科技梅菊圃半坡温室（116°35' E、40°01' N），场地位于北京市西北部的海淀区，属于温带季风气候，年均气温为 9~19 ℃，试验期间苗圃的平均温度约为 25.5 ℃，平均湿度约为 65.9%。

试验材料为规格一致的梅花‘骨里红’（*P. mume* ‘Gulihong’）一年生扦插苗。于 2020 年 12 月挑选地径 0.8~1.2 cm、株高约为 50 cm、无病虫害的梅花‘骨里红’一年生扦插苗栽植到口径 18 cm 的聚乙烯塑料盆中缓苗。基质上盆前使用 200 倍 20%多菌灵进行消毒，扦插苗上盆后立即将茎干各面均匀喷施 200 倍 20%多菌灵消毒。常规养护 4 个月后进行正式试验。

1.2 试验方法

1.2.1 试验设计　2021 年 4 月 20 日正式开始试验，营养液配比和浓度参照改良的 Hoagland 配方（具体配方见表 1），营养液中氮浓度为 420 mg・L^{-1}、磷浓度为 217 mg・L^{-1}、钾浓度为 273 mg・L^{-1}。共设 3 个因素：不同轻基质原料配比、不同单次施肥量和不同施肥频率，各因素设 3 个水平，正交试验共 9 个处理。考虑到梅花耐旱、不耐涝，喜微酸性和透气性佳

chinaXiv:202307.00175v1

的基质，将轻基质中添加腐殖质含量高且呈微酸性的松针和疏松透气无菌无毒的珍珠岩。不同轻基质原料配比分别为马尾松（*Pinus massoniana*）（已腐熟处理的）松针土：草炭：珍珠岩（体积比）=1：2：1、1：2：2、1：3：1。单次施肥量为每盆 150 mL（B1）、200 mL（B2）、250 mL（B3）。施肥频率为每次间隔 10 d（C1）、15 d（C2）、20 d（C3），具体试验设计见表 2。施肥方式为对基质均匀浇灌，CK 处理 3 组（CK1、CK2、CK3 的轻基质原料配比分别为松针土：草炭：珍珠岩=1：2：1、1：2：2、1：3：1）不施肥。每个处理 15 盆。期间视植物需求和基质干湿情况浇水。除试验条件外，其他栽培管理措施各处理相同。90 d 后停止施肥。

表 1　营养液配方

Table 1　Nutrient solution formulation

元素 Element	分子式 Molecular formula	浓度 Concentration (mg・L^{-1})	元素 Element	分子式 Molecular formula	浓度 Concentration (mg・L^{-1})
氮 N	尿素 CH_4N_2O	900	锰 Mn	四水合硫酸锰 $MnSO_4 \cdot 4H_2O$	2.13
磷、钾 P、K	磷酸二氢钾 KH_2PO_4	952	锌 Zn	七水合硫酸锌 $ZnSO_4 \cdot 7H_2O$	0.22
铁 Fe	七水合硫酸亚铁 $FeSO_4 \cdot 7H_2O$	16.68	铜 Cu	五水合硫酸铜 $CuSO_4 \cdot 5H_2O$	0.08
硼 B	硼酸 H_3BO_3	2.86	钼 Mo	二水合钼酸纳 $Na_2MoO_4 \cdot 2H_2O$	0.02

表 2　试验设计

Table 2　Experiment design

水平 Level	因素 Factor		
	基质配比（体积比） Substrate ratio (V：V：V)	单次施肥量 Single fertilization amount (mL・pot^{-1})	施肥频率 Fertilization frequency (d)
1	松针土：草炭：珍珠岩=1：2：1（A1） Pine needle soil：grass charcoal：perlite = 1：2：1 (A1)	150（B1）	10（C1）
2	松针土：草炭：珍珠岩=1：2：2（A2） Pine needle soil：grass charcoal：perlite = 1：2：2 (A2)	200（B2）	15（C2）
3	松针土：草炭：珍珠岩=1：3：1（A3） Pine needle soil：grass charcoal：perlite = 1：3：1 (A3)	250（B3）	20（C3）

1.2.2 生长和生理指标测定方法　在全部试验开始的前 1 天和结束的最后一天，分别测定梅花‘骨里红’一年生苗的株高、地径、一年生枝条的长度和直径、叶面积。根据生长量=G_n-G_0（式中：G_n 为结束时最后一天时株高、地径、一年生枝条的长度和直径、叶面积的测量值，G_0 为 0 d 时株高、地径、一年生枝条的长度和直径、叶面积的测量值）得出试验期间株高、地径、一年生枝条的长度和直径、叶面积的相对生长量。

在营养液处理前一天（0 d）和最后一天（100 d）摘取当年生枝条中上部的功能叶放入

冰盒，带回实验室立即进行生理指标测定，包括可溶性糖含量（蒽酮比色法）、可溶性糖蛋白含量（G-250 考马斯亮蓝法）、叶绿素含量（丙酮-乙醇浸提法）、光合参数（便携式光合仪 LI-6400）、全氮含量（凯氏定氮法）、全磷含量（钒钼黄吸光光度法）、全钾含量（原子吸光光度法）。试验方法参照李合生（2006）的《植物生理生化试验原理和技术》。

于施肥结束后次日将根、茎、叶分别采收后洗净，置于 80 ℃烘箱中烘至恒重后称重。

1.2.3 苗木质量指数计算公式　苗木质量指数（QI），计算公式参考邵芳丽等（2012）的文章：

$$QI = \frac{\text{苗木总干重(g)}}{\text{株高(cm) / 地径(mm)}+\text{地上部干重(g) / 地下部干重(g)}}$$

1.2.4 隶属函数计算公式　根据以下公式求得隶属函数值。

$$u(X_i) = \frac{X_i\text{-}X_{min}}{X_{max}\text{-}X_{min}}$$

式中：X_i 为第 i 个综合指标；X_{min} 和 X_{max} 分别是第 i 个综合指标的最小值和最大值；$u(X_i)$为计算得到的第 i 个综合指标的隶属函数值。

根据以下公式求出各综合指标的权重。

$$W_i = P_i / \sum_{i=1}^{n} P_i,\quad (i=1,2,3,\ldots\ldots,n)$$

式中：P_i 为第 i 个综合指标的贡献率，W_i 为计算得到的第 i 个综合指标在所有综合指标中所占的权重。

各植物的综合施肥效果计算公式如下。

$$D = \sum_{i=1}^{n} [u(X_i) \times W_i],\quad (i=1,2,3,\ldots\ldots,n)$$

式中：$u(X_i)$为第 i 个综合指标隶属函数值，W_i 为第 i 个综合指标权重，D 值为计算得到的各植物在各处理下的综合施肥效果值。D 值越大，代表该处理下的施肥效果越好。

1.3 数据处理

使用 MS Office 2019 软件进行数据处理，在 SPSS 26 软件中进行方差分析和多重比较检验差异显著性。

2　结果与分析

2.1 轻基质施肥对梅花生长特性的影响

本研究处理中，由表 3 可知，各生长指标生长量的影响均显著好于不施肥的对照组（CK），不同组合处理均显著（$P<0.05$，下同）促进了‘骨里红’幼苗株高、地径、一年生枝长度、一年生枝直径和叶面积的生长，其中 A1B3C3 处理下株高生长量达到最大值，较 CK1 提高了 225.95%；A3B3C2 处理下地径生长量达到最大值，较 CK3 提高了 219.44%。可见，施肥措施有助于提高‘骨里红’苗的生长品质。

表 3　‘骨里红’在轻基质施肥处理下的生长指标统计结果

Table 3　The growth indexs of *Prunus mume* ‘Gulihong’ under light substrate fertilization

处理 Treatment	株高生长量 Height growth (cm)	地径生长量 Basal diameter growth (mm)	一年生枝长度生长量 Annual branch length growth (cm)	一年生枝直径生长量 Annual branch diameter growth (mm)	叶面积生长量 Leaf area growth (cm^2)

A1B1C1	37.06±0.46b	1.27±0.03e	15.91±0.50c	1.42±0.05d	9.90±0.56cd
A1B2C2	35.56±0.40c	0.82±0.02g	21.83±0.80b	1.94±0.07a	12.96±0.23b
A1B3C3	39.44±0.17a	1.05±0.02f	12.49±0.23e	1.39±0.03de	9.51±0.45de
A2B1C2	21.82±0.40f	1.71±0.04d	10.46±0.13g	1.92±0.09a	8.48±0.89f
A2B2C3	23.12±0.12e	2.14±0.06b	14.38±0.34d	1.59±0.05c	10.27±0.34c
A2B3C1	12.96±0.46i	0.81±0.02g	9.78±0.23g	1.66±0.04bc	20.72±0.12a
A3B1C3	34.32±0.50d	1.22±0.01e	26.20±0.87a	1.65±0.03bc	9.94±0.45cd
A3B2C1	18.18±0.26g	1.92±0.05c	6.70±0.32h	1.71±0.02b	8.76±0.34e
A3B3C2	14.84±0.63h	2.30±0.08a	11.70±0.45f	1.42±0.01d	9.88±0.25cd
CK1	12.10±0.22j	0.38±0.02j	4.83±0.33i	0.80±0.02f	3.83±0.40h
CK2	7.50±0.10l	0.65±0.02i	1.84±0.12k	1.38±0.02de	4.41±0.20g
CK3	9.88±0.15k	0.72±0.02h	3.32±0.22j	1.32±0.03e	3.16±0.10h

注：同列不同小写字母表示不同处理间在 0.05 水平上差异显著（P<0.05）；数据为平均值±标准差。下同。

Note: Different lowercase letters in the same column indicate significant difference at 0.05 level between different treatments (P<0.05); The data are averages±standard deviation. The same below.

2.2 轻基质施肥对梅花生理特性和生物量的影响

轻基质施肥对‘骨里红’叶片可溶性糖含量、可溶性蛋白含量和叶绿素含量的影响如表 4 所示，100 d 时，轻基质配比为 1∶2∶2（体积比）对可溶性糖含量的促进效果达到最大值，较处理前提高了 62.08%，但与其他轻基质配比的处理组无显著差异。随单次施肥量的升高，可溶性糖含量下降，单次施肥量为 150 mL 对可溶性糖含量的促进效果较好，较 0 d 时提升了 75.55%，但与单次施肥量 200 mL 无显著差异，与单次施肥量 250 mL 差异显著。可溶性蛋白含量随单次施肥量的升高则呈先升后降趋势，单次施肥量为 200 mL 的处理达到最大值，较 0 d 时提升了 251.54%，显著大于其他处理。说明过多的施肥量会造成水养流失，对植物能源物质的积累效果变弱。施肥频率过高时可溶性糖含量下降，在 15 d 的施肥频率处理下达到最大值，说明‘骨里红’梅无法吸收过多的营养。

100 d 时，基质体积比为 1∶2∶1 时叶绿素含量达到最大值，比 0 d 提高了 104.34%。随着单次施肥量的升高，叶绿素含量呈先升高后降低趋势，在 200 mL 处理下达到最大值，且与其他水平间有显著差异；较低的施肥频率有助于叶绿素含量的提升，施肥频率为 15 d 时叶绿素含量达到最大值，比 0 d 提升了 98.82%，但与 20 d 处理无显著差异。说明施肥量是影响叶绿素含量的关键因素，在一定的施肥范围内，施肥量的增加可提高叶绿素的含量，超过合理的施肥范围，叶绿素含量下降。

由表 5 可知，轻基质配比对 P_n 值、G_s 值无显著影响，说明轻基质配比不是影响光合能力的重要因素，轻基质配比为 1∶2∶2（体积比）时 T_r 值达到最大值，与轻基质配比为 1∶2∶1（体积比）有显著差异；随着单次施肥量的升高，P_n 值呈升高趋势，单次施肥量 250 mL 时 P_n 值达到最大值，较另两种水平分别提高了 17.34%和 8.61%，与另两种水平有显著差异；随着施肥频率的降低，P_n 值呈先升后降趋势，15 d 时 P_n 值达到最大值，G_s 值与 T_r 值的变化与 P_n 值相似，C_i 值的变化与 P_n 值相反。说明施肥量的不同对光合的影响较大，应适时、适量地补充营养液，在实际工作中，应根据具体需要确定浇施营养液的量和频率。

如表 6 所示，施肥后‘骨里红’叶片中的的氮磷钾含量显著增加，单次施肥量越高氮磷钾含量越高，单次施肥量为 250 mL 时，氮磷钾在叶片内的含量达到最大值，与其他水平有显著差异，该处理下叶绿素含量和净光合速率也较好，营养元素的有效吸收促进了叶绿素的合成，进而提高了光合效率。施肥频率为 10 d 时叶片内氮含量和磷含量达到最大值，分别

chinaXiv:202307.00175v1

chinaXiv:202307.00175v1

为 2.872%和 0.259%，与其他处理有显著差异；钾含量在施肥频率为 10 d 和 15 d 的处理下无显著差异。可见，随施肥量的变化氮磷钾含量的变化较为一致，单次施肥量为 250 mL 能显著促进‘骨里红’氮磷钾含量的提高，施肥频率对钾含量的促进作用不明显。

轻基质配比为 1∶2∶2（体积比）时植株的叶重、茎重、根重积累较好，但不同轻基质条件下叶重无显著差异。与其他指标结果对比发现，可能是轻基质配比为 1∶2∶2（体积比）时叶绿素含量的较多、P_n 值最大，可溶性糖、可溶性蛋白含量积累最多，最终导致生物量积累较多。单次施肥量为 200 mL 时植株茎重和根重达到最大值，分别为 22.975 g 和 10.410 g，叶重在单次施肥量 200 mL 和 250 mL 下无显著差异且结果均较好，可认为 200 mL 是较适宜的单次施肥量；随着施肥频率的降低叶重的积累上升，并于 20 d 时达到最大值，分别是其他两种水平的 138.51%和 129.83%，但施肥频率对茎重和根重未见显著影响。说明适宜的单次施肥量对生物量的积累具有一定效果，而施肥频率不是影响茎重和根重的关键因素。

表 4　轻基质施肥对‘骨里红’叶片可溶性糖含量、可溶性蛋白含量和叶绿素含量的影响

Table 4　Effects of light substrate fertilization on SS content, SP content and chlorophyll content of *Prunus mume* ‘Gulihong’ leaves

处理因素 Factor		可溶性糖含量 SS content (mg • g^{-1})		可溶性蛋白含量 SP content (mg • g^{-1})		叶绿素含量 Chlorophyll content (mg • g^{-1})	
		0 d	100 d	0 d	100 d	0 d	100 d
基质体积比	1∶2∶1	15.508a	24.768a	1.135a	3.312b	1.335a	2.728a
Substrate	1∶2∶2	15.608a	25.298a	0.949a	3.635ab	1.395a	2.591b
volume ratio	1∶3∶1	15.240a	24.729a	1.068a	3.676a	1.306a	2.622b
单次施肥量	150 mL	15.691a	27.545a	1.032a	3.537ab	1.365a	2.552c
Single	200 mL	15.925a	26.591a	1.073a	3.772a	1.306a	2.758a
fertilization amount	250 mL	14.740a	20.659b	1.047a	3.313b	1.336a	2.630b
施肥频率	10 d	14.729a	24.079b	1.150a	3.870a	1.369a	2.575b
Fertilization	15 d	15.902a	25.792a	1.075a	3.553a	1.355a	2.694a
frequency	20 d	15.726a	24.924ab	0.927a	3.200b	1.282a	2.671a

表 5　轻基质施肥对‘骨里红’叶片光合参数的影响

Table 5　Effects of light substrate fertilization on photosynthetic parameters of *Prunus mume* ‘Gulihong’ leaves

处理 Treatment		P_n (μmol CO_2·m^{-2}·s^{-1})	G_s (mol H_2O·m^{-2}·s^{-1})	C_i (mol·mol^{-1})	T_r (mmol H_2O·m^{-2}·s^{-1})
基质体积比	1∶2∶1	7.385a	0.159a	318.696b	1.519b
Substrate	1∶2∶2	7.864a	0.157a	316.516b	1.825a
volume ratio	1∶3∶1	7.863a	0.127a	331.573a	1.688ab
单次施肥量	150 mL	7.103c	0.137a	317.084b	1.888a
Single	200 mL	7.674b	0.161a	32.264a	1.730a
fertilization amount	250 mL	8.335a	0.146a	317.438b	1.413b
施肥频率	10 d	7.792b	0.148a	321.785a	1.439b
Fertilization	15 d	8.633a	0.162a	320.952a	2.015a

frequency	20 d	6.688c	0.133a	324.048a	1.577b

表 6　轻基质施肥对‘骨里红’叶片氮磷钾含量和生物量的影响

Table 6　Effects of light substrate fertilization on N, P and K contents and biomass of *Prunus mume* ‘Gulihong’ leaves

处理 Treatment		N (%)	P (%)	K (%)	叶重 Leaf biomass (g)	茎重 Stem biomass (g)	根重 Root biomass (g)
基质体积比	1∶2∶1	2.749a	0.232b	3.112a	13.570a	24.166a	9.807a
Substrate	1∶2∶2	2.728a	0.230b	2.877b	16.194a	23.602a	9.740a
volume ratio	1∶3∶1	2.641b	0.266a	3.070a	14.280a	18.605b	8.322b
单次施肥量	150 mL	2.528c	0.228c	2.775b	11.171b	21.341a	9.814b
Single	200 mL	2.697b	0.240b	3.166a	16.207a	22.975a	10.410a
fertilization amount	250 mL	2.893a	0.260a	3.118a	16.666a	22.057a	8.244c
施肥频率	10 d	2.872a	0.259a	3.117a	12.759b	22.255a	9.562a
Fertilization	15 d	2.611b	0.237b	3.141a	13.612b	22.629a	9.369a
frequency	20 d	2.636b	0.232b	2.801b	17.673a	21.489a	8.938a

2.3 轻基质施肥方案综合分析与评价

利用苗木总干重、株高、地径、地上部干重和地下部干重计算 QI 指数，QI 指数越高，苗木质量越好。由表 7 可知，与对照组相比，不同的施肥方式均有效提高了苗木的质量指数，表明施肥处理可提高苗木质量。各处理中，A2B2C3 的 QI 指数达到了最大值，为 4.267，较对照组 CK2 提高了 49.67%；其次是 A2B1C2、A1B2C2 和 A1B3C3 处理。轻基质中配比为 1∶2∶2（体积比）条件下‘骨里红’幼苗 QI 指数最高，可能是‘骨里红’更喜欢排水良好的环境，该轻基质中珍珠岩较多，珍珠岩增加了基质的透水透气性。

用主成分分析法提取出各处理的综合指标特征值后，再经计算得到各处理的综合施肥效果值 *D* 值，*D* 值越大，代表该处理下的施肥效果越好。如表 8 所示，不同处理的综合施肥效果排序为：A1B3C3＞A2B1C2＞A1B2C2＞A2B2C3。植物的生长与生理指标之间的相关性不同，不同评价方式选用的参考指标不同，导致个别处理在主成分分析评价位次、模糊隶属函数评价位次与 QI 苗木质量指数评价位次略有不同。整体上，QI 苗木质量指数评价下的苗木质量与主成分分析隶属函数模糊综合评价结果基本一致。综合三者并考虑经济效益，处理 A2B1C2 即轻基质配比为松针土∶草炭∶珍珠岩（体积比）=1∶2∶2、单次施肥量为 150 mL、施肥频率为 15 d 为最适宜‘骨里红’营养生长期生长的轻基质施肥方案。

表 7　轻基质施肥下苗木质量指数 QI

Table 7　Seedling quality index QI under light substrate fertilization

处理 Treatment	苗木质量指数 QI	位次 Rank
A1B1C1	3.055	7
A1B2C2	4.171	3
A1B3C3	3.858	4
A2B1C2	4.212	2
A2B2C3	4.267	1

chinaXiv:202307.00175v1

A2B3C1	3.770	6
A3B1C3	2.888	9
A3B2C1	3.823	5
A3B3C2	2.925	8
CK1	2.383	12
CK2	2.851	10
CK3	2.424	11

表 8　各处理的权重、隶属函数值、*D* 值和排名

Table 8　The weight coefficients, membership function value, *D* value and rank of each treatment

处理 Treatment	*u* (1)	*u* (2)	*u* (3)	*u* (4)	*u* (5)	*D* 值 *D* value	位次 Rank
A1B1C1	0.745	0.769	0.619	0.504	0.857	0.708	6
A1B2C2	0.969	0.925	0.540	0.715	1.000	0.845	3
A1B3C3	1.000	0.704	0.793	1.000	0.953	0.883	1
A2B1C2	0.825	0.935	1.000	0.605	0.877	0.860	2
A2B2C3	0.925	0.838	0.840	0.544	0.919	0.832	4
A2B3C1	0.964	0.736	0.440	0.693	0.508	0.705	7
A3B1C3	0.538	0.674	0.644	0.546	0.993	0.657	9
A3B2C1	0.973	1.000	0.729	0.476	0.560	0.802	5
A3B3C2	0.732	0.738	0.734	0.581	0.575	0.689	8
CK1	0.000	0.000	0.013	0.126	0.111	0.037	11
CK2	0.027	0.080	0.000	0.000	0.000	0.027	12
CK3	0.002	0.102	0.035	0.040	0.071	0.048	10
权重	0.281	0.242	0.188	0.145	0.143	/	/

3 讨论与结论

3.1 轻基质施肥对梅花生长特性的影响

植物栽培过程中，基质是关键条件之一，它可提供稳定苗木生长的水、气、肥，基质使用不当会导致苗木生长不良、发生病害、甚至苗木死亡（邵和平，2004）。任志雨和刘艳丽（2018）研究认为，珍珠岩的增多可降低复合基质的容重、提高基质的大小孔隙比，提高复合基质的透气、透水能力。赵兴华等（2022）的研究表明，不同的珍珠岩椰糠混合基质配比对君子兰种苗的生长均有明显的影响，其中发育影响效果的是珍珠岩比例较高的复合基质。本研究中，轻基质体积比在松针土：草炭：珍珠岩（体积比）=1：2：2 的组合下‘骨里红’幼苗的生长情况最好，A2 水平下的复合基质中珍珠岩的比例多于另两种配比的轻基质，添加更多的珍珠岩使得基质的透气、透水能力更佳，利于植物的生长，梅花作为一种耐旱不耐涝的植物，良好的透气透水能力利于其更好的生长，董金旭等（2016）的基质研究试验中也有相似结果。这说明，提高珍珠岩的使用比例利于‘骨里红’苗的生长。

基质的养分状况对苗木的生长和养分的吸收利用具有显著影响，基质在不同的施肥频率和单次施肥量条件下养分吸收的程度不同，可提供给植物的养分也不同。赵力兴等（2018）研究施肥对紫花苜蓿（*Medicago sativa*）茎秆长度和茎秆直径的影响，认为增加施肥量能够促进第一茬紫花苜蓿茎秆的伸长生长。本研究认为，整体来看，单次施肥量为 150 mL、施肥频率为 15 d 对‘骨里红’的生长效果最好，过高的施肥频率和施肥量对‘骨里红’生长不利。陈高听（2016）在设施萝卜（*Raphanus sativus*）的施肥研究中发现，施肥频率过低时，

chinaXiv:202307.00175v1

植物得到的养分补给较晚，施肥时间较集中，导致养分聚集无法被吸收，养分利用率下降，植物的生长被抑制，进而影响苗木的质量。刘迪（2014）也发现单次施肥量过高则会导致水肥利用率下降，对植株生长不利。

3.2 轻基质施肥对梅花叶片中生理指标的影响

植株内可溶性糖的变化是植物碳水化合物代谢的主要标志，施肥可以提高植物体内可溶性蛋白、可溶性糖的含量，增强植物的抗性（练芳松，2021）。本研究中，轻基质配比对叶片可溶性糖含量无显著影响，较低的单次施肥量和适中的施肥频率对可溶性糖的促进效果较好，可溶性蛋白含量随单次施肥量的升高呈先升后降趋势，与刘婷岩等（2019）对白桦（*Betula platyphylla*）养分的研究结果相似。施氮量过高引起蛋白酶活性的提高，导致部分蛋白质水解速度加快，RNA 的转录和翻译过程受到抑制，可溶性蛋白含量降低（殷彪等，2020）。

叶绿素在光能的吸收、传递和转化方面均起着重要作用，其含量影响着光合作用的强弱（田鸿等，2022）。本研究中，叶绿素含量随单次施肥量的降低而降低，植物积累叶绿素所需的水分较多，施肥量低导致水分吸收不足，植物叶绿素积累量减少。赵娣（2019）的研究也显示，降低番茄（*Solanum lycopersicum*）种植过程中的水分会明显降低番茄叶片的叶绿素含量。施肥频率对叶绿素含量无显著影响，可能因为试验过程中水肥管理较合理，浇水频率和施肥频率满足叶绿素积累所需。珍珠岩占比最高的基质 A2 有利于‘骨里红’的 P_n 值、G_s 值和 T_r 值的提高，与马海林等（2010）对刺槐（*Robinia pseudoacacia*）容器育苗研究的结果相似。P_n 值随单次施肥量的升高而升高，施肥量的增多提高了氮和磷的含量，氮影响植物体内叶绿素和蛋白质的合成，磷影响植物的光合能力和能量转化，故氮和磷含量的提高促进了光合能力的提高，周维（2016）在对格木（*Erythrophleum fordii*）的研究中得到了类似的结果。本试验中，养分的增加使叶肉细胞光合活性提高，P_n 值上升，气孔调节能力提高，CO_2 在细胞间积累量降低，C_i 值减小（李丹丹等，2017）。

氮、磷和钾是植物生长发育中需求最大的三种元素，其中，对于营养生长期的梅花而言，氮水平会对梅花的生长产生较大影响。核蛋白、磷脂、磷酸酯的合成速率均与磷含量有关，这些物质的含量会影响花芽分化过程；钾可提高花卉的观赏效果和品质（王敬丽，2013）。草炭是含有较多氮、磷、钾元素的单一基质，草炭用量比例的增多可加强复合轻基质的营养和供肥能力。本研究中，含草炭最多的 A3 轻基质即松针土∶草炭∶珍珠岩=1∶3∶1（体积比）处理下‘骨里红’叶片中氮、磷和钾含量的吸收促进效果最好。魏佳等（2022）研究结果表明，草炭的营养成分高，同时总孔隙度较高、通气孔隙度达到 20%以上，透水透气能力也适宜。陈高听（2016）的研究认为，设施萝卜的生长品质与施肥频率有密切关系。‘骨里红’叶片氮、磷和钾含量随单次施肥量和施肥频率的升高而升高，提高施肥频率缩短了植物补充肥料的时间，显著增加叶片内养分含量。本研究认为，随着单次施肥量和施肥频率的升高，植株内叶片养分含量上升，但植株整体的形态生长却不完全是相同的趋势，推测是因为养分积累在植物体内是复杂的，本研究中测定的养分指标只代表叶片内积累的养分含量，且只是在施肥结束后的一次检测，而植株体内的养分在生长前期、速生期和生长后期向各器官运输的规律有差异，不同器官间的养分积累不同（欧阳园丽，2021），故各生长指标的趋势和叶片养分积累在不同试验处理下的结果不同。梅花各器官间养分的输送规律还需进一步深化研究。

3.3 轻基质施肥对梅花生物量的影响

植株的生物量能直接表现植物的生长情况，通过分次施肥可满足植物的需肥特点，并增加其对养分元素的消化吸收，提高肥料的利用率，增加植物生物量的积累（陈芳，2019）。王敬丽（2013）的研究表明，施肥可增加独本菊（*Chrysanthemum morifolium*）生物量的积累。本研究中，各轻基质施肥处理的地上地下部分生物量均高于对照，说明施肥可有效增加

chinaXiv:202307.00175v1

chinaXiv:202307.00175v1

植物的总生物量。轻基质体积比为 1∶2∶2 时生物量积累总量达到最大值，珍珠岩的大小孔隙比较高，在复合基质中使用比例的增加有效的改善了基质结构，增加了基质的透气性，同时珍珠岩具有较好的盐缓冲性，减小了营养液过量时带来的盐分伤害，保障了植物的良好生长（李耀龙等，2016）。本研究中，‘骨里红’的生物量在中量施用营养液条件下（200 mL）有较明显的增加，单次施肥量过多导致植株生物量减少，施肥频率的升高对‘骨里红’的叶重增长不利，李惠（2014）的研究中同样表明，高施肥频率一定程度上增加了植物叶片的蒸腾作用，水分和养分的损失变大。因此，在实际生产过程中，应注意施肥量和施肥频率，从而避免出现养分浪费的情况。

4 小结

本研究在梅花的轻基质配方研究中，添加了绿色环保轻基质松针土的使用，结合 QI 指数和模糊隶属函数、主成分分析方法初次筛选了适宜‘骨里红’营养生长期的轻基质施肥方案为松针土∶草炭∶珍珠岩（体积比）=1∶2∶2，单次施肥量 150 mL，施肥频率 15 d，对‘骨里红’的栽培研究和盆栽商品化提供了科学依据。但本研究仅测定了梅花叶片的生理指标，为更好评判苗木的综合生理情况，后续可结合茎、根、果实等其他器官的生理指标综合分析；同时，本研究中各试验的供试材料为单一品种，由于不同品种或不同株龄下的同一品种对于营养的需求不同，因此，今后的研究方向将针对不同品种及株龄的梅花进行对比试验，为梅花轻基质施肥技术的推广提供更多参考依据。

参考文献：

CHEN F，2019. The effects of different nitrogen application numbers and slow release fertilizer on rapeseed growth and yield [D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University. [陈芳，2019. 不同氮肥施用次数与缓释肥对油菜生长和产量的影响研究 [D]. 武汉：华中农业大学.]

CHEN GT, 2016. Effects of drip irrigation fertigation frequencies on yield, quality, water and nitrogen utilization of the facility radish [D]. Handan: Hebei University of Engineering. [陈高听，2016. 滴灌施肥频率对设施萝卜产量品质及水氮利用的影响 [D]. 邯郸：河北工程大学.]

CHEN JY, 1999. The new revised system of classification for Chinese Mei cultivars [J]. J Beijing For Univ, (2): 2-7. [陈俊愉，1999. 中国梅花品种分类最新修正体系 [J]. 北京林业大学学报，(2): 2-7.]

DONG JX, LIN ZD, PENG SQ, et al., 2016. Effects of different substrates and hormone concentrations on cutting rooting of medicinal plants [J]. For Environ Sci, 32(6): 48-53. [董金旭，林中大，彭寿强，等，2016. 不同基质和NAA质量浓度对药用观赏植物扦插生根的影响[J]. 林业与环境科学，32(6): 48-53.]

FU HQ, 2012. Market demand and soilless cultivation test on *Prunus mume* bonsai [D]. Beijing: Beijing Forestry University. [付慧琪，2012. 梅花盆景市场需求及无土栽培试验研究 [D]. 北京：北京林业大学.]

HUANG LQ, WU LJ, WANG XM, et al., 2022. Effects of formula fertilization on growth, flowering and physiology of container seedlings of *Lagerstroemia indica* 'Zi Jing Ling' [J]. Plant Physiol J, 58(9): 1735-1746. [黄兰清，吴丽君，王晓明，等，2022. 配方施肥对‘紫精灵’紫薇容器苗生长、开花及生理的影响 [J]. 植物生理学报，58(9): 1735-1746.]

LI CW, YANG B, WANG SS, et al., 2020. International cultivar registration of *Prunus mume* cultivars and cultivation management technology of *Prunus mume* in Nanjing [J]. Chin Landscape Architect, 36(S1): 44-47. [李长伟，杨波，汪诗珊，等，2020. 南京梅花国际登

chinaXiv:202307.00175v1

录新品种及梅花栽培管理技术研究 [J]. 中国园林，36(S1): 44-47.]
LI DD, CHEN JB, ZONG JQ, et al., 2017. Effects of nitrogen on photosynthetic characteristics of 'Tifton85' Bermudagrass [J]. Pratacultural Sci, 34(3): 472-478. [李丹丹，陈静波，宗俊勤，等，2017. 施氮对‘Tifton85’狗牙根光合特性的影响 [J]. 草业科学，34(3): 472-478.]
LI H, 2014. The study of foliar fertilizer and dosage and frequency for *Cymbidium* [D]. Beijing: Beijing Forestry University. [李惠，2014. 大花蕙兰叶面施肥及营养液用量频率研究 [D]. 北京：北京林业大学.]
LI HS, 2006. Principles and techniques of plant physiological and biochemical experiments [M]. Beijing: Higher Education Press. [李合生，2006. 植物生理生化试验原理和技术 [M]. 北京：高等教育出版社.]
LI HY, 2019. Study on container seedlings raising technology of *Quercus mongolica* in light matrix [D]. Shenyang: Shenyang Agricultural University. [李宏祎，2019. 蒙古栎轻基质容器育苗技术研究 [D]. 沈阳：沈阳农业大学.]
LI YD, 2019. Study on container seedlings raising technology of *Magnolia sieboldii* in light matrix [D]. Shenyang: Shenyang Agricultural University. [李宇蝶，2019. 天女木兰轻基质容器育苗技术研究 [D]. 沈阳：沈阳农业大学.]
LI YL, JI YH, YU PB, et al., 2016. Screening test for mixed soilless culture matrix based on different physical and chemical properties [J]. N Hortic, 359(8): 36-40. [李耀龙，季延海，于平彬，等，2016. 基于不同基质理化特性的无土栽培混合基质筛选 [J]. 北方园艺，359(8): 36-40.]
LIAN FS, 2021. Effects of fertilization treatments on growth and physiological indicators of *Euscaphis konishii* Havata [J]. Subtrop Agric Res, 17(3): 158-164. [练芳松， 2021. 施肥对圆齿野鸦椿生长与生理指标的影响 [J]. 亚热带农业研究，17(3): 158-164.]
LIU D, 2014. Studies on nitrogen, phosphorus and potassium nutrition of three standard chrysanthemum varieties [D]. Beijing: Beijing Forestry University. [刘迪，2014. 三个独本菊品种的氮、磷、钾营养研究 [D]. 北京：北京林业大学.]
LIU TY, HAO LF, WANG QC, et al., 2019. Nutrient loading of *Betula platyhylla* seedlings under different light medium and fertilization treatments [J]. J Nor For Univ, 47(10): 16-19. [刘婷岩，郝龙飞，王庆成，等，2019. 不同轻基质和施肥处理对白桦苗木养分承载的影响 [J]. 东北林业大学学报，47(10): 16-19.]
LIU ZM, XIAO Y, WU W, et al., 2022. Effects of different container size and substrate ratio on the growth of *Zelkova schneideriana* container seedlings [J]. J SW For Univ, 42(1): 68-75.[刘泽茂，晓玥，吴文，等，2022. 不同容器和基质配比对榉树容器苗生长的影响 [J]. 西南林业大学学报，42(1): 68-75.]
LONG HY, DENG LX, XU CR, et al., 2022. Effects of NPK formula fertilization on growth and root morphology of *Camellia huana* [J]. Guizhou Agric Sci, 50(8): 25-33. [龙海燕，邓伦秀，徐超然，等，2022. 氮磷钾配方施肥对贵州金花茶生长及根系形态的影响 [J]. 贵州农业科学，50(8): 25-33.]
MA HL, LIU FC, MA BY, et al., 2010. Characteristics of media for container seedling cultivation of *Robinia pseudoacacia* and its evaluation [J]. J Nor For Univ, 38(11): 38-41. [马海林，刘方春，马丙尧，等，2010. 刺槐容器育苗基质特性及其评价 [J]. 东北林业大学学报，38(11): 38-41.]
OUYANG YL, 2021. Study on nutrient resorption characteristics of different organs in different age Chinese fir plantations [D]. Nanchang: Jiangxi Agricultural University. [欧阳园丽，2021.

不同年龄杉木人工林不同器官养分回收特征研究 [D]. 南昌：江西农业大学.]
REN ZY, LIU YL, 2018. Effects of different coir dust to perlite ratio substrate on growth and seedling raising effect of tomato seedling [J]. Tianjin Agr Sci, 24(5): 63-66. [任志雨，刘艳丽，2018. 不同配比的椰糠与珍珠岩基质对番茄幼苗生长和育苗效果的影响 [J]. 天津农业科学，24(5): 63-66.]
SAVVAS D, GRUDA N, 2018. Application of soilless culture technologies in the modern greenhouse industry - A review [J]. Eur J Hortic Sci, 83(5): 280-293.
SHAO FL, GONG YB, GUAN L, et al., 2012. Effects of different moisture gradients and N-fertilizer levels on *Cupressus chengiana* seedling growth [J]. Bull Soil Water Conserv, 32(1): 45-49. [邵芳丽，宫渊波，关灵，等，2012. 不同水氮条件对岷江柏幼苗生长的影响 [J]. 水土保持通报，32(1): 45-49.]
SHAO HP, 2004. Studies on propagation, medium cultivation and flowering regulation of azaleas [D]. Nanjing: Nanjing Agricultural University. [邵和平，2004. 比利时杜鹃轻基质栽培与花期调控技术研究 [D]. 南京：南京农业大学.]
SU XH, 2020. Analysis on breeding technology and application of *Prunus mume* [J]. Spec Econ Anim Plant, 23(8): 20-21. [苏小惠，2020. 梅花繁育技术及园林应用现状分析 [J]. 特种经济动植物，23(8): 20-21.]
TIAN H, WEI XL, LUO X， 2022. Effects of substrate ratios on growth and photosynthetic physiology of *Ormosia henryi* Prain containerized seedlings [J]. J Nor For Univ, 50(2): 1-5. [田鸿，韦小丽，罗旋，2022. 基质配比对花榈木容器苗生长及生理生化的影响 [J]. 东北林业大学学报，50(2): 1-5.]
WANG JL, 2013. Studies on nitrogen, phosphorus and potassium nutrition of two standard chrysanthemum varieties [D]. Beijing: Beijing Forestry University. [王敬丽，2013. 两个独本菊品种氮磷钾营养研究[D]. 北京：北京林业大学.]
WANG NN, DONG B, YANG LY, et al., 2021. Cloning and expression analysis under adversity stress of 2 *PmWRKY2* in *Prunus mume* [J]. J Zhejiang A & F Univ, 38(4): 812-819. [王楠楠，董彬，杨丽媛，等，2021. 梅花2个*PmWRKY2*基因克隆及在逆境胁迫下的表达模式 [J]. 浙江农林大学学报，38(4): 812-819.]
WEI J, LU TY, WANG CS, et al., 2022. Analysis of physical properties differences of different grain grades of horticultural substrate materials [J]. J Beijing Univ Agric, 37(4): 13-18. [魏佳，路天宇，王朝胜，等，2022. 不同粒级园艺基质原料物理性质差异分析[J]. 北京农学院学报，37(4): 13-18.]
YANG ST, 2021. Identification and specific expression patterns in flower organs of *ABCG* genes related to floral scent from *Prunus mume* [D]. Jinzhong: Shanxi Agricultural University. [杨姝婷，2021. 梅花花香挥发的部位差异分析及*ABCG*基因的表达研究 [D]. 晋中：山西农业大学.]
YIN B, YU ZJ, ZHANG M, et al., 2020. Effects of formula fertilization on physiological characteristics and bamboo shoot yield of *Dendrocalamus latiflorus* [J]. J Fujian Agric For Univ(Nat Sci Ed) , 49(5): 631-638. [殷彪，于增金，张盟，等，2020. 配方施肥对麻竹叶片生理特性及竹笋产量的影响[J]. 福建农林大学学报（自然科学版），49(5): 631-638.]
ZHAO D, 2019. Research on effect of alternate root-zone drip irrigation on physiological, growth and yield of processing tomato [D]. Shihezi: Shihezi University. [赵娣，2019. 分根区交替灌溉对滴灌加工番茄生理生长及产量的影响研究 [D]. 石河子：石河子大学.]
ZHAO LX, GAO K, WANG XG, et al., 2018. Effects of fertilizer amount and fertilization

chinaXiv:202307.00175v1

frequency on stem diameter and length of alfalfa [J]. Anim Husb Feed Sci, 39(5): 57-62. [赵力兴，高凯，王显国，等，2018. 施肥量与施肥频率对紫花苜蓿茎秆直径及长度的影响[J]. 畜牧与饲料科学，39(5): 57-62.]

ZHAO XH, YUE L, WU HH, et al., 2022. Effects of compound substrate of coconut bran and perlite on the growth of clivia [J]. Mol Plant Breed, 20(21): 7224-7228. [赵兴华，岳玲，吴海红，等，2022. 珍珠岩椰糠混合基质影响君子兰营养生长的试验[J]. 分子植物育种，20(21): 7224-7228.]

ZHOU W, 2016. Research on growth and photosynthetic characteristics of *Erythrophleum fordii* seedling under different NPK fertilization [D]. Nanning: Guangxi University. [周维，2016. 氮磷钾配比施肥对格木幼苗生长及光合特性影响的研究[D]. 南宁：广西大学.]

ZHOU XJ, YANG QY, SHEN XX, et al., 2021. Effect of different gibberellin concentration and temperature treatment on the cultivation of *Prunus mume* ‘Meiren’ [J]. Bull Agric Sci Technol, 591(3): 193-197. [周小娟，杨巧云，申潇潇，等，2021. 不同赤霉素浓度和温度处理对美人梅促成栽培的影响 [J]. 农业科技通讯，591(3): 193-197.]

chinaXiv:202307.00175v1